



Glaciación en el Ordovícico Superior: el registro litológico en Paraguay del evento geológico responsable de la primera extinción masiva

Upper Ordovician Glaciation: the lithological record in Paraguay of the geological event responsible of the first massive extinction

Moisés Gadea^{1,2}, Luís García¹, Ingrid Godoy³, Diego Robles¹, Iris Olmedo¹, Linda Guillén¹, Liz Brítez¹, Maximiliano Caballero⁴ & Pedro Benítez¹

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción. ²Email: moi7moses@yahoo.com.

³Geóloga consultora independiente.

⁴Laboratorio de Sismología. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Asunción.

Resumen.- Se considera a la extinción masiva en el Ordovícico Superior como la segunda de mayor relevancia a nivel global en la historia de la tierra luego de *la Gran Muerte*, ocurrida a finales del Pérmico Superior. La causa de la extinción en el Ordovícico, según las teorías vigentes, se debió a una breve glaciación del tipo *snowball*, el cual supone un planeta congelado. En Paraguay se han reconocido estratos con litologías del tipo tillitas y diamictitas en la interfase de los grupos Caacupé e Itacurubí, descritas como glaciogénicas, y geocronológicamente coincidentes con aquella glaciación causante de la extinción masiva a finales del Ordovícico Superior.

Palabras Clave: extinciones masivas, Ordovícico Superior, Formación Boquerón, Paleozoico Inferior

Abstract.- The Upper Ordovician massive extinction is considered as the second of relevance at global level on the Earth's history after the "Great Death", which took place at the end of the Upper Permian. The cause of the Ordovician extinction, according to in force theories, was due to a short glaciation of the *snowball* type, which supposes a frozen planet. In Paraguay, layers of tillites and diamictites have been recognized at the interphase between the Caacupé and Itacurubí groups, described as glaciogenic, and geochronologically matching with that glaciation causative of the massive extinction by the end of the Upper Ordovician.

Key Words: massive extinctions, Upper Ordovician, Boquerón Formation, Lower Paleozoic

Según estimaciones, cuatro mil millones de especies han evolucionado en el planeta Tierra a lo largo de 3,5 mil millones de años, de los cuales el 99 % de dichas especies ya no existen. Esto sugiere el carácter muy común que representan las extinciones, sin embargo, esto normalmente es causado por especiación (Barnosky *et al.*, 2011).

La extinción masiva se entiende como una gran crisis biológica relativamente brusca a escala geológica, en la cual gran cantidad de seres vivos de diversas especies dejan de existir (Molina, 1995); o cualquier intervalo de tiempo en el que los niveles de extinción se sitúan por encima de los valores de fondo para una gran porción de clades. Una vasta mayoría de individuos aparecieron y desaparecieron sin dejar rastros (Hull, 2015).

La extinción de las especies parece ser la constante inevitable a lo largo del tiempo geológico desde la aparición de la vida en el planeta. Este fenómeno se define como la desaparición total de los individuos que conforman una población por unidad de tiempo, con una escala de impacto que varía desde puntual (en un área restringida), a masiva (de varias zonas geográficas del planeta simultáneamente), cuando una región o la totalidad del planeta experimenta modificaciones ambientales drásticas, ante las cuales los seres vivos no son capaces de responder adaptativamente (Castellanos, 2006).

Según Molina (1995), existen tres tipos de modelos de extinción: de fondo, gradual y catastrófica. La extinción de fondo es aquella que ocurre aleatoriamente y constante en la línea



de tiempo para todos los grupos siendo éste un proceso normal. El modelo gradual de extinción se regula por condiciones biológicas de competencia y endemismo, el que involucra selección natural. La extinción masiva catastrófica se da en un intervalo de tiempo muy corto (Molina, 1995), que podrían obedecer a modificaciones ambientales controladas por eventos de escala planetaria y/o cosmológica.

Los ritmos y duración de los cambios de ecosistemas durante las extinciones sugieren fuertes relaciones entre la biosfera y la geosfera. Así también existe un agente macro-evolucionador: la sucesión Sistema Tierra. Esto tiene lugar en el tiempo de un cambio ambiental global o biótico, y este hecho conduce a un desequilibrio entre la biosfera y la geosfera (Hull, 2015).

Los paleontólogos definen *extinción masiva*

cuando la Tierra pierde más del 75 % de sus especies en un corto lapso geológico, y esto ha ocurrido sólo cinco veces en los pasados 540 millones de años: casi al final del período Ordovícico, y en los períodos Devónico, Pérmico, Triásico y Cretácico (Barnosky *et al.*, 2011).

Las extinciones masivas de gran envergadura, en relación a las proporciones de aniquilamiento de especies, son referidas como *las cinco grandes*, en donde las masas de las especies muertas representó una eliminación completa de ramas del árbol de la vida (Hull, 2015).

La extinción masiva en el Ordovícico Superior

El Ordovícico tuvo su duración desde los ~485 a ~443 millones de años (Cohen *et al.*, 2019), y en su ocaso ocurrió una extinción masiva. Esta



Figura 1. Diamictitas de la Formación Boquerón. **A)** Cantera en Eusebio Ayala. Localidad tipo de la Formación Boquerón en -25.429634° -56.934277° . **B)** Paraconglomerado silicificado con clastos flotantes facetados y angulosos en matriz areno-limosa en la Formación Boquerón. **C)** Cantera de exposición en el trayecto Guarambaré – Nueva Italia en -25.517347° -57.487612° . **D)** Diamictita en la cantera de la foto 1C. Cadilitas en matriz arenosa fina.

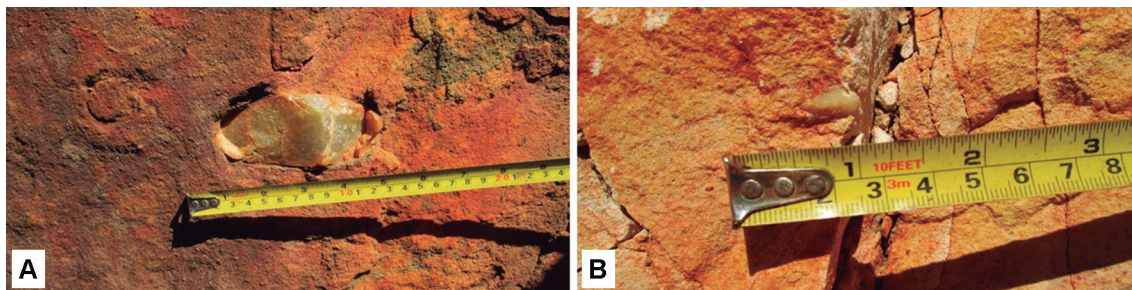


Figura 2. Detalles de diamictitas. **A)** Diamictita con “dropstones” de cuarzo estriado de unos 11 cm de diámetro en una matriz arenosa de color rojizo **B)** Diamictita con abundante matriz de arenisca silicificada en el talud de la cantera (Rotela, 2016).

extinción fue la segunda en grado de devastación en términos de vida animal en la historia de nuestro planeta (Elewa and Joseph, 2009).

Sheenan (2001) señala que casi al final del Ordovícico Superior, en la primera de las cinco extinciones masivas en el Fanerozoico, cerca del 85 % de las especies marinas fallecieron. Así mismo afirma, que los cambios ecológicos que acompañaron a la extinción, fueron menos dramáticos que las demás extinciones.

Según Barnosky *et al.* (2011), el evento de extinción en el Ordovícico culminó hace aproximadamente 443 millones de años, en un rango de tiempo de 3.3 a 1.9 millones de años, en donde el 57 % de los géneros de animales desaparecieron, lo cual representa un estimado de 86 % de las especies.

Una glaciación en el límite temporal Ordovícico – Silúrico fue el desencadenante para esta extinción masiva (Hull, 2015), produciendo un descenso de los niveles marinos por enfriamiento global y pérdida de hábitat (Harnik *et al.*, 2012).

Esta extinción se debió a episodios alternantes de glaciación e interglaciación, repetidas transgresiones y regresiones marinas, epirogénesis y meteorización de los Montes Apalaches, afectando a la química atmosférica y oceánica (Barnosky *et al.*, 2011).

La extinción tuvo dos pulsos primarios (Brenchley *et al.*, 1994-1995; Brenchley y Marshall 1999; en: Sheenan, 2001). El primer pulso al inicio de la glaciación ordovícica (principios del

Ordovícico Superior), tuvo lugar cuando el nivel del mar descendió unos 100 metros, aproximadamente. Se produjo un severo cambio climático y la circulación oceánica fue incrementada, con enfriamiento y aumento del contenido de oxígeno, modificando el hábitat marino. Las zonas epicontinentales fueron fuertemente drenadas (Sheenan, 2001).

El segundo pulso de extinción ocurrió al final de la glaciación (finales del Ordovícico Superior), durante el ascenso del nivel del mar, y el clima regional retornó a sus condiciones pre-glaciales, a consecuencia de una disminución de la circulación oceánica. El cambio brusco de glaciación y desglaciación probablemente contribuyó a una extinción por el escaso tiempo disponible para la adaptación a nuevos ambientes, entre las cuales la *fauna Hirnantiana* y otras especies de mar abierto fueron extintas (Sheenan, 2001).

Más de un centenar de familias de invertebrados desaparecieron y otras familias llegaron a instancias extremas hasta casi eliminarse, en un episodio de extinción en dos pulsos. Estroménidos y rhynchonélidos, braquiópodos, nautiloides, trilobites, crinoideos, conodontes, graptolites, etc. resultaron extintos (Hull, 2015).

El registro litológico en Paraguay

La evidencia de la glaciación ordovícica en Suramérica demuestra que fue de menor extensión que en el continente africano. Pavimentos estriados por glaciación se han identificado

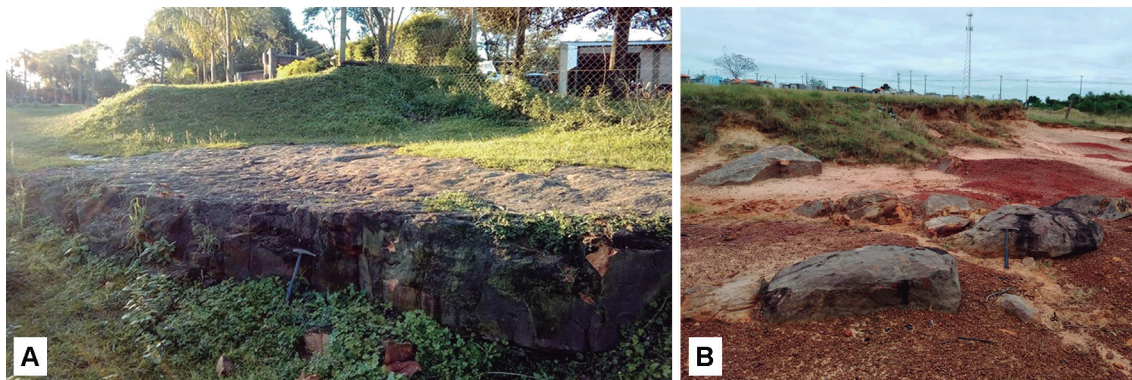


Figura 3. Afloramientos de Diamictitas. **A)** Exposición en forma de rampa. Diamictitas de la Formación Boquerón en el trayecto Villeta – Nueva Italia. -25.569542° -57.532697° **B)** Reciente hallazgo de diamictitas en una cantera abandonada en Villeta en -25.503032° -57.554187° .

en la Formación Zapla (Ordovícico Superior) cercanos a la frontera de Argentina y Bolivia (Sheenan, 2001). La Formación Cancañari en el sur de Bolivia se compone por diamictitas con un espesor de 175 metros, en medio de depósitos marinos superyacentes e infrayacentes. La Formación Cancañari está compuesta por tillitas, las cuales fueron depositadas por glaciales (Sheenan, 2001).

En Brasil se señala a la Formación Iapó como glaciónica. Cronoestratigráficamente, está situada en la frontera temporal del Ordovícico/Silúrico, en una unidad delgada (menor a 20 metros de espesor) y de amplio despliegue regional, cubriendo en forma discontinua miles de kilómetros cuadrados. Está compuesta en su facie principal por diamictitas con guijarros en una matriz lodosa, algunos facetados y/o estriados. Estas diamictitas son interpretadas como tillitas subglaciales. La glaciación en el límite Ordovícico/Silúrico y su correlación con otras cuencas de Gondwana sugiere glaciación máxima en el Ashgilliano (Ordovícico Superior) (Assine *et al.*, 1998).

A pesar de no ser observada con anterioridad, esta discordancia se infirió a la luz de la glaciación que ocurrió posterior a la deposición de la Formación Tobatí (Ordovícico Superior) (Rotela, 2016). Ciertamente, Assine *et al.* (1998) predijeron la existencia de depósitos glaciónicos en el Ordovícico/Silúrico de la cuenca del

Paraná en Paraguay, que posteriormente fueron efectivamente observados e identificados.

Uno de los primeros reconocimientos de estos depósitos en el Paleozoico Inferior paraguayo fue realizado en el trabajo del Proyecto PAR 83/005 (1986), en donde una secuencia de areniscas conglomerádicas fue localizada en una cantera en las afueras de la ciudad de Eusebio Ayala. En la base de dichos sedimentos se observan cantos de hasta 4 centímetros de diámetro con textura grano-decreciente, en areniscas medias a finas hacia su techo. Estos depósitos fueron considerados en ese entonces como de origen fluvial continental y situado en la base del Grupo Itacurubí.

Orué (1996) menciona labores de su equipo de trabajo investigando la discordancia pre-silúrica, y observaron una secuencia estratigráfica de areniscas de grano grueso con matriz arcillosa, seguida por tillitas con matriz limosa, arcillosa o arenosa de origen fluvio-glacial, la que posteriormente fue asignada como unidad geológica y denominada Formación Boquerón (Orué, 1996), la que aún no ha sido oficialmente aceptada como unidad geológica.

La Formación Boquerón, cuya edad es del Silúrico Inferior, Eollandoveriano (Orué, 1996), se sitúa en la interfase del Ordovícico-Silúrico, en discordancia sobre la Formación Tobatí (Ordovícico), y por debajo de la fase transgresiva que representa a la Formación Eusebio Ayala

(Silúrico) (Orué, 1996). Asimismo, se reconoce un despliegue regional de carácter regresivo, a semejanza a lo ocurrido en Argentina y África (Orué, 1996).

Estableciendo correlaciones con otros lugares de la cuenca del Paraná, Orué (1999) equiparó crono-lito-estratigráficamente a la Formación Boquerón con la Formación Vila María (Formación Iapó) del Brasil. El evento Llando-veriano es tenido como horizonte guía por medio de criptoesporas y del icnofósil *Arthropycus aleighaniensis*. Inmediatamente infrayacentes se sitúan los depósitos de paleoambientes glaciales en estudio (Borghi *et al.*, 1999).

La Formación Boquerón debe su nominación a las rocas ubicadas en una cantera a 6 km de Eusebio Ayala (Figs 1A y 1B), cercana al poblado de Boquerón. En dicha zona, afloramientos aislados en las márgenes del arroyo Piribebuy y en lugares aledaños también fueron reportados. Del mismo modo, en una pequeña cantera (Figs 1C y 1D) en el trayecto Guarambaré – Nueva Italia, alejado del lugar estrato-tipo (Orué, 1996).

Exploraciones recientes han develado un mayor número de exposiciones de la Formación Boquerón en la zona de Villeta (Figs 2A, 2B y 3A). Así también se han reportado en la zona de Itacurubí de la Cordillera (Vargas, *com. pers.*, 2017); en el cerro Cabayú de Tobatí (Gómez Duarte, *com. pers.*, 2019) y en la zona de Angos-

tura, a orillas del río Paraguay en Villeta (Báez, *com. pers.*, 2019). Se estima que aún existen otros lugares con estas rocas por ser reportados. Entonces, la sistematización para un mapeo para estas facies aún queda abierta.

Estos afloramientos se caracterizan por su discontinuidad lateral en forma de ventanas restringidas y como relictos erosivos en el sistema Ordovícico-Silúrico del Paleozoico Inferior oriental del Paraguay. Sus manifestaciones distales conocidas se separan por una distancia de casi 65 kilómetros, desde la cantera de Boquerón hasta Angostura.

Muy próximo al monumento histórico de Abay, en la parte posterior del cementerio de Villeta y cercano a su microcentro (Fig. 3B), esta formación ha sido localizada superpuesta a las diamictitas en un pequeño relikto erosivo de un material con características más reductoras y de menor energía.

Estas rocas se describen como un paraconglomerado (matriz soportado) petromítico de color gris claro (Fig. 4B); moderadamente cementado, con clastos líticos flotantes de diversa naturaleza, subredondeados-subangulosos en una matriz limo-arenosa, el cual se lo considera como una tillita (Fig. 4A). Esto se deduce así por sus características texturales, en asociación con las facies glaciogénicas representadas por la infrayacente diamictita y su gran parecido a las

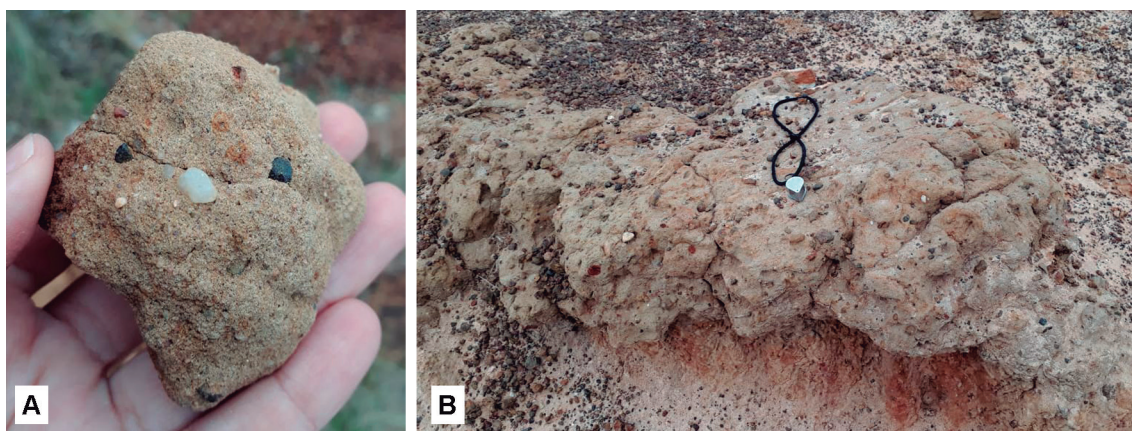


Figura 4. Paraconglomerados de origen glaciar. **A)** Tillita. **B)** Exposición de paraconglomerado en Villeta, inmediatamente infrapuesto a las diamictitas.

Tabla 1. Esquema litoestratigráfico del Sistema Ordovícico – Silúrico del Paraguay Oriental (Proyecto PAR 83/005), **A)** Según Orué (1996). **B)** Según el presente trabajo.

A) Esquema litoestratigráfico propuesto por Orué (1996)			
Fm. Cari'y	Areniscas y lutitas fosilíferas	Grupo Itacurubí	Silúrico
Fm. Vargas Peña	Lutitas fosilíferas		
Fm. Eusebio Ayala	Areniscas, siltitas, arcillitas fosilíferas		
Fm. Boquerón	Diamictitas y tillitas		
Fm. Tobatí	Areniscas	Grupo Caacupé	Ordovícico
Fm. Cerro Jhu	Areniscas arcósicas		
Fm. Paraguari	Conglomerados		
B) Esquema litoestratigráfico propuesto en el presente trabajo			
Fm. Cari y	Areniscas y lutitas fosilíferas	Grupo Itacurubí	Silúrico
Fm. Vargas Peña	Lutitas fosilíferas		
Fm. Eusebio Ayala	Areniscas, siltitas, arcillitas fosilíferas		
Fm. Boquerón	Diamictitas y tillitas		
Fm. Tobatí	Areniscas	Grupo Caacupé	Ordovícico
Fm. Cerro Jhu	Areniscas arcósicas		
Fm. Paraguari	Conglomerados		

conocidas tillitas del Carbonífero de la Formación Coronel Oviedo.

Consideraciones Finales

La glaciación en el final del Ordovícico Superior, causante de la segunda extinción masiva a nivel global, despliega su registro litológico en Paraguay, el cual es actualmente designado como la Formación Boquerón. Esta manifestación ha sido reportada con anterioridad en medio de las facies gondwánicas del Paleozoico Inferior en los países aledaños a Paraguay, luego fue identificada localmente y correlacionada con las demás de otras geografías.

Las exposiciones de la Formación Boquerón son restringidas, como relictos erosivos, siempre en el contexto del Sistema Ordovícico-Silúrico del Paraguay Oriental. Si bien ha sido original y localmente descripta y correlacionada como del Silúrico Inferior (Tabla 5A), aquí se propone su posición cronoestratigráfica

como perteneciente al techo del Ordovícico Superior (Tabla 5B), teniendo en consideración el periodo de glaciación global vigente en ese tiempo geológico, y no durante el Llandoveriano Inferior inmediato, representado por la Formación Eusebio Ayala, en superposición a la Formación Boquerón.

Aunque los afloramientos de la Formación Boquerón son notorios en varios lugares, aún no ha sido oficialmente aceptada como unidad geológica en Paraguay, existiendo controversias al respecto. Sin embargo, en virtud de los hallazgos recientes y que los reconocimientos en el campo no han sido concluyentes ni definitivos, sean en la zona de la Cordillera de los Altos y/o en los alrededores de Villeta, se propone aquí que existen suficientes argumentos para que esta facies sea considerada como unidad geológica oficial dentro del sistema Ordovícico/Silúrico en Paraguay.

Literatura

- Assine, M.L., Alvarenga, C.J.S. & Perinotto, J.A.J. (1998). Formação Iapó: registro glacial no limite Ordovician/Siluriano da bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, 28(1): 51–60.
- Barnosky, A., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G., Swartz, B., Quental T., Marshall, Ch., Mcguire, J., Lindsey, E., Maguire, K., Mersey, B. & Ferrer, E. (2011). Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived? *Nature*, 471: 51–57.
- Borghi, L., Moreira, M.I.C., Romão, F. & Young, C.G.K. (1999). O registro do intervalo Ordoviciano-Siluriano da Bacia do Paraná em afloramientos nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, Brasil, e sua correlação no Paraguai. *Resúmenes de las Jornadas Científicas sobre la Geología de Paraguay*, 4 pp.
- Castellanos, C. (2006). Extinción: Causas y Efectos sobre la Diversidad Biológica. *Revista Luna Azul*, 23: 33–37.
- Elewa, A. & Joseph, R. (2009). The history, origins, and causes of mass extinctions. *Journal of Cosmology*, 2: 201–220.
- Cohen, K.M., Harper, D.A.T., Gibbard, P.L. & Fan, J.X. (2019). *International Chronostratigraphic Chart*. Version 2019/5. [Consulted: 25.vii.2019]. <<http://stratigraphy.org>>.
- Harnik, P., Lotze, H., Anderson, S., Finkel, Z., Finnegan, S., Lindberg, D., Hsiang, L., Liow, H., Lockwood, R., McClain, C., Mcguire, J., O'Dea, A., Pandolfi, J., Simpson, C. & Tittensor, D. (2012). Extinctions in ancient and modern seas. *Trends in Ecology and Evolution*, 27(11): 608–617.
- Hull, P. (2015). Life in the Aftermath of Mass Extinctions. *Current Biology*, 25(19): R941–R952.
- Molina, E. (1995). Modelos y Causas de Extinción Masiva. *Interciencia*, 20(2): 83–89.
- Orué, D. (1996). *Síntese da geologia do Paraguai Oriental, com ênfase para o magmatismo alcalino associado*. Dissertação de Mestrado. São Paulo, Brasil: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 163 pp.
- Orué, D. (1999). Discordancia entre las Unidades Ordovícicas-Silurianas del Grupo Caacupé e Itacurubí. *Resúmenes de las Jornadas Científicas sobre la Geología de Paraguay*, 2 pp.
- Proyecto PAR 83/005 (1986). *Mapa Geológico del Paraguay: Texto Explicativo*. Asunción, Paraguay: Dirección del Servicio Geográfico Militar. iii + 2 pp.
- Rotela, G. (2016). *Sedimentología y estratigrafía de las manifestaciones de sedimentos glaciares en el intervalo Ordovícico-Silúrico en el departamento Central del Paraguay y su correlación con la Formación Boquerón*. Trabajo de Grado. San Lorenzo, Paraguay: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Asunción. 42 pp.
- Sheenan, P. (2001). The Late Ordovician Mass Extinctions. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 29: 331–364.